Aus dem Strahlen-Institut der Universität des Saarlandes
Direktor: Prof. Dr. med. Franz Sommer

Methoden zur Bewegungsbestrahlung der Thoraxwand nach Ablatio Mammae mit dem 42 MeV Siemens-Betatron und Siemens-Gammatron 3

INAUGURALDISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde der
Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

1969

vorgelegt von

Heinz-Josef Schmidt-Hermes

Dekan: Professor Dr. med. H. Witter
Referent: Prof. Dr. med. Franz Sommer

Aus dem Strahlen-Institut der Universität des Saarlandes
Direktor: Prof. Dr. med. Franz Sommer

Methoden zur Bewegungsbestrahlung der Thoraxwand nach Ablatio Mammae mit dem 42 MeV Siemens-Betatron und Siemens-Gammatron 3

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der
Hohen Medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

1969

vorgelegt von

Heinz-Josef Schmidt-Hermes

Dekan: Professor Dr. med. H. Witter
Referent: Prof. Dr. med. Franz Sommer

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Promotionsprüfung wurde am 6. Februar 1969 abgelegt.

Einleitung

Operation und Strahlenbehandlung dürften bis heute die einzigen therapeutischen Maßnahmen zur Behandlung des Brustkrebses geblieben sein. An der Brustdrüse findet der Chirurg besonders günstige Voraussetzungen für eine radikale Operation. Da in vielen Fällen mit Metastasen in der parasternalen oder der axillären bzw. supraclaviculären Drüsenregion zu rechnen ist, hat sich die kombinierte chirurgisch-radiologische Behandlung durchgesetzt.

Die Verabreichung der notwendigen hohen Strahlendosen auf ein so großes Herdgebiet, wie es beim Mamma-Karzinom mit seinen regionären Lymphbahnen gegeben ist, birgt natürlicherweise eine gewisse Problematik in sich. Immer wieder sind strahleninduzierte Veränderungen im Bereiche der Lungen und der Rippen beschrieben worden. So geben FIEBELKORN und HILLGER bei 437 prae- bzw.postoperativ konventionell bestrahlten Mammakarzinom-Patientinnen 15,1% Strahlenreaktionen an Lungen oder Pleura an. Von BIRKNER und SCHAAF werden Strahlenschädigungen der knorplig-knöchernen Brustwand beschrieben. Nach KUTTIG beträgt die Zahl der nach Orthovoltbestrahlung mit Knochennekrosen belasteten Patientinnen 17,1%, die mit Lungenreaktionen belasteten 14,3%. Nach letztgenanntem Autor sind diese Strahlenschädigungen nach Einführen der Megavolt-Therapie erheblich

zurückgegangen. So werden Knochenschäden kaum noch gesehen, Lungenreaktionen in 8% der Fälle. Bei exakt ausgeführter tangentialer Pendelbestrahlung mit Kobalt 60 können sie sogar auf 2,2% herabgesetzt werden.

Zur Telekobalttherapie des Mammakarzinomes sind verschiedene Methoden angegeben worden. Wenn man von der von FRANK empfohlenen konventionellen Ferngroßfeld-Bestrahlung, die ein Überschneiden von Bestrahlungsfeldern verhindern soll, absieht, so stehen heute zwei Methoden zur Bestrahlung der Thoraxwand nach Ablatio mammae im Vordergrund.

Die erste Methode ist die Holfelder'sche Tangentialbestrahlung oder ihre Modifikationen, die zweite Methode ist die Bewegungsbestrahlung. Insbesondere LOCHMAN und SPOLJAR haben Methoden für die Anwendung von Tangentialfeldern ausgearbeitet und hierbei relativ günstige Resultate bzgl. der Dosisverteilung erzielt. Letztgenannter Verfasser strahlt über 4 tangentiale Felder, ein unteres mediales und laterales sowie ein oberes mediales und ein posterosuperiores Feld ein. Weitere Vorschläge zur Verbesserung der Bestrahlungstechnik mit flankierenden Feldern stammen von ETTER. Aber nur die sogenannte Doppelzangenmethode von EICHHORN mit zwei sich ergänzenden Tangentialfelderpaaren gestattet eine praktisch alleinige Bestrahlung der Thoraxwand.

Während man bei der Zangenbestrahlung jedoch auf die Schwierigkeit trifft, das in mehrere Felder aufgeteilte Bestrahlungsgebiet gleichmäßig ohne Überlappungen oder minderbelastete Zonen mit der erforderlichen Dosis zu belegen, gelingt es mit der Pendelbestrahlung eine weitgehend gleichmäßige Dosisverteilung in der Thoraxwand zu erzielen.

In dem Bestreben, die gesamte Thoraxwand durch ein Feld zu erfassen, wurde von HARE, TRUMP und WEBSTER die tangentiale Bewegungsbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen von 2 MeV entwickelt. Diese Autoren bestrahlten bei feststehender Strahlenquelle unter Drehung des sitzenden Patienten um eine in Körper liegende Achse, wobei der Strahlenkegel so ausgeblendet war, daß sein verbleibender lateraler Anteil die Thoraxwand ständig tangential schneidet. Die Weiterentwicklung dieser Bestrahlungsmethode durch HOLTHUSEN, GAUWERKY, insbesondere jedoch durch BECKER und Mitarbeiter führte zur tangentialen Pendelbestrahlung mit Kobalt 60. Als geeignete Pendelwinkel werden 150 bis 180° und Drehpunktstiefen von 10 bis 14 cm sowie Auslenkwinkel von 5 bis 10° angegeben. Die Einstellung erfolgt anhand von Körperumrissen, mittels Dosiskurven werden geeignete Pendelwinkel, Auslenkwinkel und Feldgröße bestimmt.

Der Forderung jedoch, das gesunde Gewebe möglichst zu schonen, kann am sichersten, wie aus den von SCHUBERT, SCHMERMUND und OBERHEUSER ermittelten Isodosen bzw.

Tiefendosiskurven (Abbildung 1 und 2) hervorgeht, durch eine Elektronentherapie Rechnung getragen werden. Diese Autoren haben eine auf BECKER und WEITZEL zurückgehende Methode angewandt.

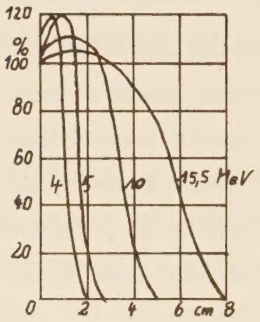


Abb. 1. Prozentuale Tiefendosis von schnellen Elektronen bei ausgeglichenem Feld in Abhängigkeit von der Energie.

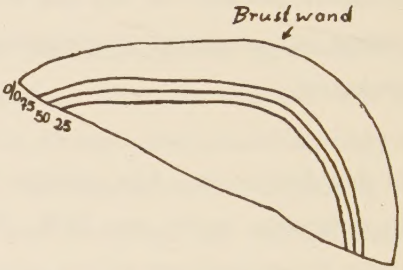


Abb. 2. Isodosen bei Pendelbestrahlung mit 9 MeV-Elektronen.

Unter Beachtung einer optimalen Einstelltechnik und Dosisberechnung haben wir nun versucht, für das 42 MeV SIEMENS-Betatron eine Elektronenpendelbestrahlungsmethode zu entwickeln. Durch die Pendelbestrahlung wird lediglich die Thoraxwand erfasst, die parasternalen sowie die axillären und supraclaviculären Lymphknoten müssen gesondert über Stehfelder bestrahlt werden.

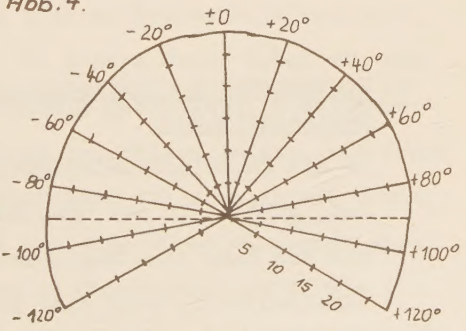
Darstellung der eigenen Untersuchungen

a) Ermittlung der Lage der bestmöglichsten Drehachse.

Um den topographischen Verhältnissen der Thoraxwand möglichst Rechnung zu tragen, benutzen wir zur Ermittlung des Kreissektors, über den gependelt werden soll, zwei Schablone. Die erstere besteht aus einer durchsichtigen Plexiglasplatte, auf der mehrere Halbkreise mit verschiedenen Radien eingraviert sind (Abbildung 3). Die zweite Schablone besteht aus einer Teilkreiszeichnung von -120 bis +120°, in die Radien jeweils im Abstand von 20° eingezeichnet sind. Die Radien selbst weisen in Abständen von 1 cm eine Markierung auf (Abbildung 4).

Abb. 3.

Abb. 4.



Zur Ermittlung der Thoraxform geht man nun folgendermaßen vor: Der Patient wird mit unter den Kopf geschlagenen Händen waagrecht auf dem Bestrahlungstisch gelagert. Die gewünschte Feldlänge wird genau in Sternummitte eingestellt, die Pendelachse in 10 cm Tiefe gelegt. Sodann fährt man mit dem 42 MeV SIEMENS-Betatron, das

einen optischen Entfernungsmesser enthält, die Thoraxwand von 20 zu 20° ab. Die Werte, die die Differenz Pendelradius und Fokushautabstand bei den entsprechenden Winkelsteilungen ergibt, werden auf der Papierschablone ebenfalls unter den entsprechenden Winkeln eingetragen. Die Verbindungslinie der so ermittelten Punkte ergibt die äussere Form der zu bestrahlenden Thoraxwand. Durch geeignetes Auflegen der Plexiglasschablone wird dann der idealste Kreisbogen ausgesucht, und es werden die Koordinaten für den neuen Drehpunkt ermittelt, die dem Mittelpunkt des gefundenen Kreises entsprechen. Die neuen Koordinaten werden in Bezug auf den angenommenen Drehpunkt, der in Sternummitte in 10 cm Tiefe liegt, angegeben.

b) Problematik der Feldbegrenzung, Dosisverteilung und Dosisermittlung.

Da die Pendelgeschwindigkeit des Gerätes nicht variabel ist, gingen wir bei unseren Überlegungen davon aus, daß man nur dann eine möglichst günstige Dosisverteilung erhalten kann, wenn eine ausreichend große Zahl von Pendelbewegungen erzielt wird. Das kann erreicht werden, wenn die Dosisleistung niedrig gehalten wird. Hieraus ergibt sich, daß die eingestrahlte Dosis bei Vorlegen einer gleichen Anzahl von Monitorsprüngen* bei ver-

* Bei Stehfeldbestrahlung ist die eingestrahlte Dosis bei gleicher Monitorvorwahl gleich groß, sie ist jedoch zeitunabhängig *

schiedenen Pendelwinkeln verschieden ist. Ein weiteres Problem stellt die Begrenzung des Feldes dar. Bei Einstellung der gewünschten Feldlänge, etwa von 16 cm, mittels der optischen Feldanzeige, ergibt sich, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, ein erheblicher Dosisabfall in der Sollkreisebene vom Zentralstrahl zum Feldende hin. Durch Einfahren der Folie 4 könnte der Dosisabfall (Tabelle 1, Spalte 4) flacher gestaltet werden, jedoch würde dies eine nicht zu akzeptierende Verlängerung der Bestrahlungszeit mit sich bringen.

Wir haben versucht, dieses Problem auf eine andere Art zu lösen. Werden die Blenden in Sollkreisebene maximal geöffnet, so kommt in einem Feld von etwa 16 cm Länge eine ziemlich homogene Dosisverteilung zustande (Tabelle 2). Der Feldrest, in dem ein steiler Dosisabfall vorliegt, muß ausgeblendet werden. Zu diesem Zweck haben wir uns 5 x 7 cm starke, brückenförmig gestaltete, auseinandernehmbare Polyaethylenbalken anfertigen lassen, mit denen das Bestrahlungsfeld symmetrisch von cranial und caudal auf die gewünschte Länge von etwa 16 cm eingeengt wird. Infolge der Feldeinengung in Objektnähe tritt, wie die Messungen beweisen, kein wesentlicher Halbschatteneffekt auf. Die Dosisminderung beträgt unmittelbar vor der Abdeckung etwa 17%, ist jedoch bereits 8 mm feldwärts nicht mehr vorhanden. Unter der Abdeckung ist keine Strahlung nachzuweisen. Eine Abdeckung mit einem hochatomaren Stoff, z.B. Blei oder Bleigummi, kommt wegen

Tabelle 1

Position der Mikrokammer	Duplex-Sprünge bei Folie 0		Duplex-Sprünge bei Folie 2		Duplex-Sprünge bei Folie 4	
im Zentralstrahl	58		32		14	
in Sollkreis-ebene vom Zentralstrahl	Prozentual zur Zentral-strahldosisleistung		Prozentual zur Zentral-strahldosisleistung		Prozentual zur Zentral-strahldosisleistung	
1 cm	57	98,o %	32	100,o %	14	100,o %
2 "	54	93,o %	31	97,o %	14	100,o %
3 "	51	88,o %	29	90,5 %	13	93,o %
4 "	43	74,3 %	25	78,2 %	12	85,5 %
5 "	31	53,5 %	20	62,4 %	10	71,4 %
6 "	21	36,2 %	16	50,o %	8	57,2 %
7 "	11	19,o %	11	34,3 %	6	42,7 %
8 "	6	10,3 %	7	21,9 %	5	35,7 %
Bestrahlungszeiten Messung als Mittel-wert	45"		1'27"		4'16"	

Meßbedingungen: 9 MeVe^-, 4 x 16 cm großes Stehfeld, Fokus-Haut-Abstand 110 cm, Monitorvorwahl 200 Sprünge, Mikrokammer jeweils in 1,5 cm Tiefe im ovalen Plexiglaswasserphantom der Fa.PYCHLAU

Tabelle 2

Position der Mikrokammer	Duplex-Sprünge bei Folie 0	Prozentual zur Zentralstrahl-Dosisleistung
im Zentralstrahl	59	100,0 %
1 cm in Sollkreisebene vom Zentralstrahl	59	100,0 %
2 " " "	59	100,0 %
3 " " "	59	100,0 %
4 " " "	58	97,9 %
5 " " "	57	96,5 %
6 " " "	55	93,2 %
7 " " "	52	88,3 %
8 " " "	43	72,9 %
9 " " "	23	39,0 %
10 " " "	12	20,3 %
11 " " "	6	10,15%
12 " " "	3	5,08%

Meßbedingungen: 9 MeVe^- , 4 x 26 cm großes Stehfeld, Fokus-Haut-Abstand 110 cm, Monitor-Vorwahl 200 Sprünge, Mikrokammer jeweils in 1,5 cm Tiefe im ovalen Plexiglas-wasserphantom der Fa.PYCHLAU

der Entstehung von Bremsstrahlung nicht in Frage. Die Feldbreite, also die Feldbegrenzung senkrecht zur Sollkreisebene, wählen wir möglichst klein, um eine gute Dosisverteilung zu erzielen. Der Dosisabfall in dieser Ebene vom Zentralstrahl zur Feldbegrenzung, der etwa 25% beträgt, braucht, da er in Richtung der Pendelbewegung erfolgt, nicht berücksichtigt zu werden.

Bei der Dosisbestimmung gehen wir unter Beachtung oben aufgeführter Probleme nun folgendermaßen vor:
Nach Festlegung des günstigsten Kreissektors und der Drehachse, wie bereits oben ausgeführt, wird von dem Kreissektor unter Beibehaltung der wirklichen Thoraxwandform eine Papierschablone angefertigt. Diese wird in möglichst günstiger Lage auf die Stirnseite des ovalen Wasserphantomes der Firma PYCHLAU aufgeklebt. Sodann wird über diesen Sektor gependelt und die Dosis mittels der Mikrokammer des Duplex-Dosimeters an mehreren Stellen im Dos_{max} mitgemessen. (Ermittlung des Dos_{max} siehe Abbildung 5).

Die Abweichungen der einzelnen Meßpunkte sind, wie aus Tabelle 3 hervorgeht, gering, das arithmetische Mittel wird als Grundlage zur Dosisberechnung genommen. Bei der Pendelung am Phantom wird die Pendelachse in den Mittelpunkt des Kreissektors gelegt. Die Blende in Richtung der Sollkreisebene wird maximal auf-, die senkrecht zur Sollkreisebene maximal zugefahren. Die gewünschte Feld-

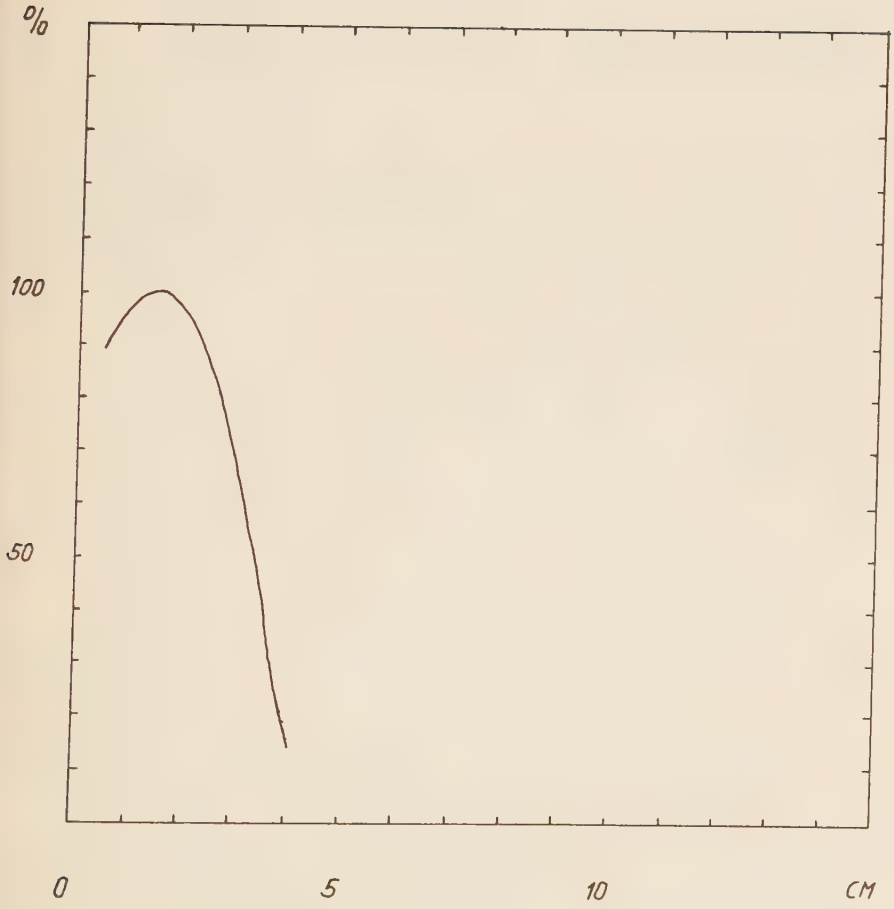


Abb. 5. Tiefendosis für schnelle Elektronen von 9 MeV bei Folie 0.

Tabelle 3

Pendelwinkel	Achsen-tiefe	Position der Mikrokammer im Zentralstrahl	Duplex-Sprünge gemessen in 1,5 cm Tiefe
- 17,5 bis - 86,o = 68,5°	12 cm	30° 50° 70°	54 56 57
+ 24,o bis + 93,o = 69,o°	15 cm	30° 50° 70°	41 42 42
+ 16,5 bis - 48,5 = 65,o°	18 cm	+ 5° - 20° - 40°	40 41 40

Meßbedingungen: 9 MeVe^- , Monitorvorwahl 500 Sprünge,
Multiplierstellung 5 Teilstriche,
Feinregulierung der relativen Dosis-leistungsanzeige in Endstellung, relativ Dosisanzeige konstant auf 30 Teilstriche
Pendelradius 120 cm. Gependelt wurde übe o.a.Winkel, wobei die Blende in Richtung Sollkreis maximal auf-, die Blende senk-recht zum Sollkreis maximal zugefahren w
Gemessen wurde im ovalen Plexiglaswasser phantom der Fa.PYCHLAU.

länge wird mit den Polyaethylenbalken, wie oben beschrieben, ausgeblendet. Bei dieser Phantommessung, wie auch später bei der Bestrahlung an dem Patienten, ist es jedoch Vorbedingung, daß eine konstante Dosisleistung des Gerätes erreicht wird. Wir gehen dabei so vor, daß wir immer eine bestimmte Multiplierstellung, z.B. 5 Teilstriche, wählen, die Feinregulierung der relativen Dosisleistung in Endstellung bringen und die relative Dosisanzeige konstant auf 30 Teilstrichen halten. Gependelt wird konstant mit einem Pendelradius von 120 cm. Unter diesen Bedingungen war es uns möglich, die ermittelten Meßwerte immer wieder zu reproduzieren.

Nach diesen Vorbereitungen, die im allgemeinen nicht länger als eine halbe Stunde dauern, kann die Bestrahlung beginnen. Die Einstellung ist hier relativ einfach. In senkrechter Stellung, also in 0°-Stellung des Strahlerkopfes, wird die ermittelte Drehachse eingestellt und dann solange ausgependelt, bis der geometrische Rand des Pendelfeldes dem des Sternalfeldes anliegt. Bezüglich der Feldgröße bzw. der Feldausblendung mit Polyaethylen wird wie bei der Phantommessung verfahren. Der bereits ermittelte Pendelwinkel wird an der Schaltborde eingestellt, nach Vorwahl der Monitorsprünge entsprechend der geplanten Dosis kann die Bestrahlung beginnen. Natürlich genügt bei Patientinnen, bei denen bezüglich Achsentiefe und Pendelwinkel gleiche Bedingungen vorliegen, eine einmalige Phantommessung.

c) Anwendung der gleichen Einstelltechnik für die tangentiale Telekobalt-Pendelbestrahlung.

Es lag nun nahe, die von uns bei der Elektronen-Pendelbestrahlung angewandte Einstelltechnik auch auf die tangentiale Pendelbestrahlung mit Kobalt 60 zu übertragen. Hierzu nahmen wir zunächst am PYCHLAU-Wasserphantom entsprechende Messungen vor.

Nach Anfertigung eines beliebigen Thorax-Querschnittes in Zentralstrahlebene wurde durch Auflegen oben beschriebener Plexiglasschablone der Bestkreis ausgesucht und somit der Drehpunkt festgelegt (A in Abbildung 6). Bezüglich der Lage des Drehpunktes bestätigten unsere Erfahrungen, was bereits WICHMANN und HEINZEL aufzeigen konnten, daß der Drehpunkt in erster Näherung auf der Mitte des sagittalen Durchmessers gesucht werden muß, der in etwa ein Drittel des transversalen Durchmessers von lateral zu erwarten ist. Von dem Thorax-Querschnitt fertigten wir genau wie bei der Pendelung mit Elektronen eine Papierschablone an und klebten sie in möglichst günstiger Lage auf der Stirnseite des PYCHLAU-Wasserphantomes auf. Sodann wurde über diesen Sektor gependelt und die Dosis mittels der Mikrokammer des Duplex-Dosimeters in den verschiedenen Tiefen und Winkelpositionen mit gemessen. Da wir mit einer konstanten Achsenfeldbreite von 7 cm pendelten, was in etwa einer Hautfeldbreite bzw. eines Strahlenbündels im Bestrahlungsbereich von 5 - 5,5 cm entspricht, mußte die Auslenk-

strecke* Bestkreisradius minus der Hälfte der Breite des Strahlenbündels betragen. Befindet sich nämlich ein Teil des Strahlenkegels ausserhalb des Körpers, so liegt nach KELLER das Dos_{max} ebenfalls ausserhalb des Körpers und man findet im Körper nur noch einen steilen Dosisabfall.

Wir tangierten also einen Kreis, dessen Radius um 2 cm kleiner war als der des Bestkreises. Der Auslenkwinkel wurde nach der Winkelfunktion Sinus α = Gegenkathete : Hypothenuse = Bestkreisradius minus 2 : Pendelradius errechnet, die Drehachse lag im Mittelpunkt des Kreissektors. Zur Bestimmung des Ausgangspunktes der Pendelbewegung wurde durch Drehen des Pendelradius um den Winkel X der Zentralstrahl auf den geometrischen Feldrand des gewünschten Pendelfeldsektors gebracht und der Zentralstrahl um den Winkel α ausgelenkt. Dreht man nun den Pendelradius um den Winkel Y zurück, so liegt der ausgelenkte Zentralstrahl dem Schnittpunkt des unausgelenkten Zentralstrahles mit dem Kreis des Radius, Bestkreisradius minus 2 tangential an (Abbildung 6). Der überpendelte Sektor des angefertigten Thorax-Querschnittes erstreckte sich jeweils vom Sternalfeld bis zur hinteren Axillarlinie.

---

* Strecke zwischen Pendelachse und Zentralstrahl, wobei die Strecke senkrecht auf dem Zentralstrahl steht*

Tabelle 4 a

Kammerposition jeweils im Zentralstrahl an der Oberfläche	Duplex-Sprünge Durchgangskammer im Elektronengleichgewicht Achsen-Feldgröße 7 x 19 cm
- 5°	1600 = 192,o R
+ 30°	1640 = 197,o R
+ 55°	1684 = 202,o R
+ 80°	1560 = 187,o R

Meßbedingungen für Tabelle 4 a und 4 b :

Die Sprungzahlen wurden entsprechend der im Prüfprotokoll der Fa.PYCHLAU angegebenen Faktoren in R umgerechnet.

Die Bestrahlungszeit betrug bei allen Messungen 3' , Pendelradius 60 cm, Pendelgeschwindigkeit 260°/min.

Gemessen wurde im ovalen Plexiglaswasserphantom der Fa.PYCHLAU.

Tabelle 4 b

Kammerposition jeweils im Zentralstrahl (Tiefe auf 1/2 Kammerdurchmesser bezogen)		Duplex-Sprünge gemessen mit Mikrokammer Achsenfeldgröße 7 x 19 cm	Prozentual zum Dos_{max}
	1,7	15 = 99,o R	51,5o %
- 5°	3,4	4 = 30,8 R	16,oo %
	5,4	1 = 7,7 R	4,oo %
	1,7	15 = 99,o R	50,3o %
+ 30°	3,4	4 = 30,8 R	15,65 %
	5,4	1 = 7,7 R	3,9o %
	1,7	16 = 106,o R	52,5o %
+ 55°	3,4	4 = 30,8 R	15,2o %
	5,4	1 = 7,7 R	3,8o %
	1,7	15 = 99,o R	52,9o %
+ 80°	3,4	4 = 30,8 R	16,5o %
	5,4	1 = 7,7 R	4,1o %

Tabelle 5 a

Kammerposition im Zentralstrahl an der Oberfläche	Duplex-Sprünge Durchgangsdosiskammer im Elektronengleichgewicht Achsenfeldgröße 7 x 19 cm
+ 25°	1800 = 216,0 R
+ 50°	1957 = 234,0 R
+ 75°	1850 = 222,0 R

Meßbedingungen für Tabelle 5 a und 5 b :

Die Sprungzahlen wurden entsprechend dem im Prüfprotokoll der Fa.PYCHLAU angegebenen Faktoren in R umgerechnet.

Die Bestrahlungszeit betrug bei allen Messungen 3', Pendelradius 60 cm, Pendelgeschwindigkeit 260°/min.

Gemessen wurde in ovalen Plexiglaswasser-phantom der Fa.PYCHLAU.

Tabelle 5 b

Kammerposition jeweils im Zentralstrahl (Tiefe auf Kammermitte bezogen)		Duplex-Sprünge gemessen mit Mikrokammer Achsenfeldgröße 7 x 19 cm	Prozentual zum Dos_{max}
+ 25°	1,7	20 = 158,o R	73,oo %
	2,7	14 = 91,o R	42,oo %
	5,5	3 = 19,5 R	9,oo %
+ 50°	1,7	23 = 177,o R	75,5o %
	2,7	16 = 104,o R	44,5o %
	5,5	3 = 19,5 R	8,35 %
+ 75°	1,7	23 = 177,o R	79,5o %
	2,7	17 = 111,o R	50,oo %
	5,5	3 = 19,5 R	8,75 %

In Tabelle 4 a und 4 b sind die unter folgenden Bestrahlungsbedingungen gefundenen Werte angegeben:

Auslenkung entgegen dem Uhrzeigersinn; tangiert wurde ein Kreis, dessen Radius um 2 cm kleiner war als der des Bestkreises. Anfang der Pendelbestrahlung war a) einmal die Sternalfeldmitte und b) der auf der gesunden Seite liegende geometrische Feldrand des Sternalfeldes.

Bei Pendelung nach a) konnte unter dem zur gesunden Seite hin gewandten geometrischen Feldrand eines 7 cm breiten simulierten Sternalfeldes in 1,7 cm Tiefe noch 4,2% des Dos_{max} gemessen werden, bei Pendelung nach b) noch 2,09% des Dos_{max}.

Lenkt man dagegen den Zentralstrahl im Uhrzeigersinn aus und pendelt unter gleichen Bedingungen, so liegen die Tiefendosiswerte zwar um etwa 15% höher (Tabelle 5 a und 5 b), jedoch wird bereits bei Ansetzen des Zentralstrahles an dem zur kranken Seite hin gewandten geometrischen Feldrand des simulierten Sternalfeldes die gesunde Thoraxseite erheblich vom Strahlenbündel geschnitten. Zur Bestrahlung am Patienten kommt also nur die erstere Methode in Frage. Die Einstellung am Patienten selbst erfolgt wie nachstehend aufgeführt: (Abbildung 6)

1) Bei nicht ausgelenktem Strahlerkopf und Zentralstrahl auf 0° die Achsentiefe t und die Verschiebung s aus der Medianebene einstellen.

2) Drehung des Pendelradius um den Winkel X, um den Zentralstrahl auf den geometrischen Feldrand des gewünschten Pendelfeldsektors zu bringen.

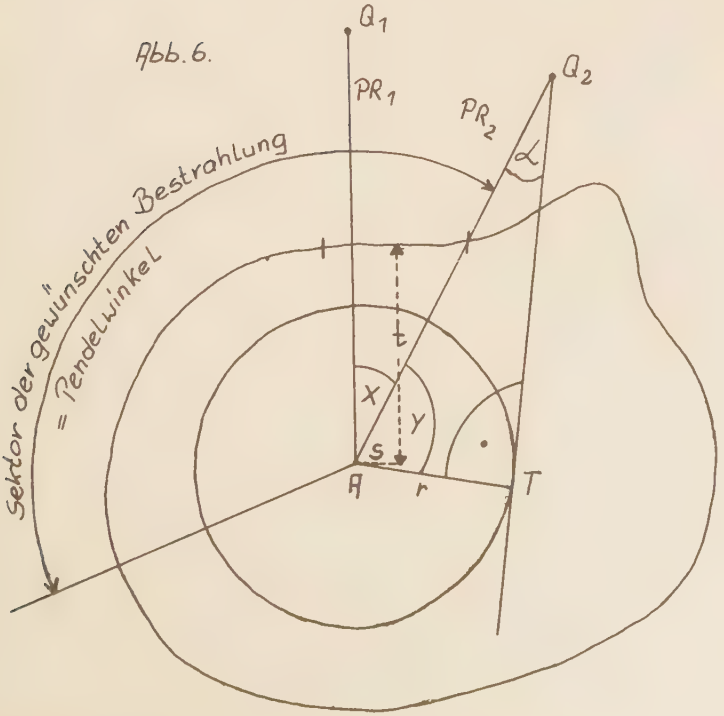
3) Strahlerkopf um den Winkel α auslenken, da Sinus $\alpha = r/PR_2$

Hierbei bedeutet PR = Pendelradius
r = Radius des Bestkreises minus 2 im bestrahlten Querschnittsbereich.

4) Drehung des Pendelradius aus Winkelstellung X um den Winkel Y, dann liegt der Zentralstrahl dem Schnittpunkt von PR_2 mit dem Kreis des Radius (Bestkreisradius minus 2) tangential an.

$Y = 90^{\circ} - \alpha$ (Auslenkwinkel), da AQ_2T ein rechtwinkliges Dreieck ist.

Abb. 6.



Vergleich der Methoden und Meßergebnisse

Die Einführung der Elektronen-Pendelbestrahlung der Thoraxwand durch SCHUBERT, SCHMERMUND und OBERHEUSER nach BECKER und WEITZEL brachte ohne Zweifel einen Fortschritt. Die Autoren hatten für die Durchführung der Elektronen-Pendelbestrahlung mit dem 15 MeV-Betatron bezüglich der von uns aufgewiesenen Probleme als Kompromißlösung einen Spezialtubus entwickelt. (Tubuslänge 5 cm, Blendengröße 9 x 3,5 cm. Bei einem Pendelradius von 60 bis 65 cm und einem Tubus-Hautabstand von 1 bis 2 cm sowie einem Pendelwinkel von 80° betrug die Ausdehnung des bestrahlten Oberflächenareals etwa 9 x 30 cm.)
Wir haben gezeigt, daß bei der Pendelbestrahlung mit dem 42 MeV SIEMENS-Betatron ohne größere Zusatzgeräte bei der von uns geübten Einstellungstechnik das Problem der Feldgröße bzw. der Feldbegrenzung und der Dosisverteilung durch relativ einfache Maßnahmen gelöst werden kann. Auch die Übernahme dieser Einstelltechnik für die tangentiale Telekobalt-Pendelbestrahlung erbrachte ebenfalls zufriedenstellende Ergebnisse. Die ionometrisch gefundenen Tiefendosiswerte zeigen lediglich gegenüber den von FRISCHBIER und KUTTIG ermittelten einen um etwa 6% steileren Abfall zur Tiefe hin, die Verteilung in den gleichen Schichttiefen ist jedoch homogener. Nach KUTTIG kann der Dosisabfall durch Anwendung geeigneter Keilfilter noch etwas günstiger gestaltet werden.

Die bei der tangentialen Telekobalt-Pendelbestrahlung an das Sternum gelangte Dosis wird durch ein direktes Stehfeld ebenfalls unter Verwendung eines Keilfilters auf die gewünschte Gesamtdosis aufgefüllt.

Oben genannte Autoren geben für die tangentiale Pendelbestrahlung mit Kobalt 60 folgende Einstell- und Bestrahlungstechnik an (zit.nach FRISCHBIER und KUTTIG):
Die Pendelachse liegt von ventral und lateral in einer Tiefe innerhalb des Thoraxraumes, die dem halben a.p.-Durchmesser der Patientin entspricht. Hierzu wird nach Abmessen mit den Beckenzirkel der Strahler bis zum Kontakt des Abstandsmessers mit der Haut gesenkt, die Auftreffpunkte der Lichtstrahlen der auf die Länge des Pendelradius eingestellten Lichtpeilstäbe auf die Haut mit Farbstoff markiert und dies bei Strahlerstellung 90° wiederholt.
Die Feldgröße, bezogen auf die Pendelachse, beträgt 18 x 6 cm
Danach wird in Strahlerstellung 150° die Arretierung des Zentralstrahles auf die Pendelachse gelöst und der Auslenkwinkel der Art eingestellt, daß das Strahlenbündel bei Tangieren der Thoraxwand in einer Breite von etwa 2 cm darüber hinausreicht. Dadurch ist gewährleistet, daß auch bei Unebenheiten der Thoraxwand diese stets noch tangential mit einem Teil der Feldbreite bestrahlt wird.

Auch wir haben bei unserer Einstelltechnik das Strahlenbündel etwa 0,5 bis 1 cm über die Thoraxwand hinausreichen lassen, um noch etwaige Unebenheiten auszugleichen.

Nach unseren Messungen kann also die gleiche Einstelltechnik bezüglich der Drehpunktsermittlung, wie sie bei der Elektronen-Pendelbestrahlung angewandt wird, auch auf die tangentiale Telekobalt-Pendelbestrahlung übertragen werden. Die von uns gefundenen Tiefendosiswerte sind bei beiden Pendeltypen zufriedenstellend.

Zusammenfassung

Es wird über die Technik zur Gewinnung eines Thorax-Querschnittes und über die Ermittlung des Bestradius für die Elektronen-Pendelbestrahlung der Thoraxwand sowie über die Einstellung am SIEMENS 42 MeV-Betatron berichtet. Die technischen Grundlagen der Methoden werden im einzelnen erläutert, die mit dieser Methode am Phantom gemessenen Tiefendosiswerte werden in Form von Tabellen wiedergegeben. Es wird gezeigt, daß die Problematik der Feldgröße bezw. der Feldbegrenzung und der Dosisverteilung bei Anwendung des 42 MeV SIEMENS-Betatron durch relativ einfache Maßnahmen gelöst werden kann. Die Anwendung der gleichen Einstelltechnik bezüglich der Drehpunktsermittlung für die tangentiale Telekobalt-Pendelbestrahlung erbrachte im Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Werten ebenfalls zufriedenstellende Ergebnisse.

Schrifttumsverzeichnis

1. Becker, J. und Kuttig, H.: Die tangentiale und schalenförmige Pendelbestrahlung mit Gammastrahlen des Kobalt 60.
   Strahlentherapie 108 (1959): 19-21

2. Becker, J. und Weitzel, G.: Neue Formen der Bewegungsbestrahlung beim 15 MeV Betatron der Siemens-Reiniger-Werke.
   Strahlentherapie 101 (1956):183-185

3. Becker, J., Werner, K. und Kuttig, H.: Unsere Erfahrungen mit dem Universal-Gerät für Bewegungsbestrahlung "Müller TU 1".
   Strahlentherapie 95 (1954): 183

4. Birkner, R. und Schaaf, J.: Neun Fälle von Strahlenschädigungen der knorplig-knöchernen Brustwand. In einem Fall tödlicher Ausgang.
   Strahlentherapie 93 (1954):455-462

5. Eichhorn, H.J.: Über eine Schwerpunktsverlagerung in der Dosisverteilung bei der Röntgenbestrahlung des Mamma-Karzinoms und die Höhe der Herddosen im biologischer Maß.
   Strahlentherapie 89 (1953):524-525

6. Etter, H.: Erfahrungen mit dem Kobalt 60 - Pendelgerät Theratron junior.
   Strahlentherapie 107 (1958): 395

7. Fiebelkorn, H.-J.und Hillger, H.: Über die Strahlenreaktionen der Lunge und der Pleura als Folge von Mammakarzinom-Bestrahlungen.
   Strahlentherapie 96 (1955): 591

8. Frank, A.: Die postoperative Strahlenbehandlung des Mammakarzinoms mit Anwendung eines Großfeldes.
   Strahlentherapie 89 (1953): 537

9. Frischbier, H.-J.und Kuttig, H.: Die Telekobalttherapie des Mamma-Karzinoms.
Strahlentherapie 120 (1963): 517-518, 521

10. Hare, H.F., Trump, J.G.und Webster, E.W.: Rotational scanning of breast malignancies with supervoltage radiation.
Amer.J.of Roentgenol. 68 (1952): 435-447

11. Holthusen, H., Gauwerky, F. und Heinzel, F.: Automatic control of the tube current as a means of dose regulation in tangential rotation.
Brit.J.of Radiol. 29 (1956):274-276

12. Keller, M.L.: Dosisverteilung und Dosisermittlung bei der Pendelbestrahlung.
Urban & Schwarzenberg-Verlag, München-Berlin-Wien, 1964: 39, 41

13. Kuttig, H.: Telegammatherapie Indikationsstellung, Erfahrungen und Ergebnisse.
Fortschritte der Medizin 86 (1968):56

14. Kuttig, H.: Die postoperative Strahlentherapie des Mamma-Karzinoms.
Journal de Radiologie d'Elektrologie 48 (1967): 778

15. Lochman, D.J.: Dosage in tangential radiation therapy of the postoperative breast portal.
Amer.J.of Roentgenol. 73 (1955): 803-812

16. Spoljar, M.: A critical evaluation of a tangential method of postoperative X-Ray therapy of cancer of the breast with dose measurements on critical points.
Radiologia clinica 23 (1954):264-271

17. Schubert,G., Schmermund,H.-J.und Oberheuser,F.: Die Betatrontherapie gynäkologischer Karzinome. Strahlentherapie 112 (1960): 7-8

18. Wichmann,H.und Heinzel,F.: Leitfaden der Bewegungsbestrahlung. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1959: 87

Zum Schluß der Arbeit möchte ich allen danken, die die Fertigstellung der Arbeit unterstützt haben.

So gilt mein besonderer Dank Herrn Prof.Dr.F.Sommer, Direktor des Strahlen-Institutes der Universität des Saarlandes, für die Überlassung des Themas sowie für seine Unterstützung und seine Ratschläge bei der Abfassung der Arbeit.

Ferner danke ich Fräulein Ingrid Harig, MTA des Strahlen-Institutes, für ihre freundliche Unterstützung bei den Phantommessungen.

L e b e n s l a u f

Am 14.September 1938 wurde ich, Heinz-Josef Schmidt-Hermes, als Sohn des Eisenbahninspektors Anton Schmidt-Hermes und seiner Ehefrau Margarete geb.Hermes in Saarbrücken geboren.

Nach 4 Jahren Volksschule besuchte ich das Ludwigs-gymnasium in Saarbrücken, wo ich 1958 mein Abitur ablegte.

Im Sommersemester 1958 wurde ich an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes immatrikuliert.

Ich blieb während des gesamten Studiums in Saarbrücken bzw.Homburg, bestand im November 1960 die ärztliche Vorprüfung und im Dezember 1963 das Medizinische Staats-examen.

Die Medizinalassistentenzeit absolvierte ich an ver-schiedenen Krankenhäusern in Saarbrücken und erhielt am 31.Dezember 1965 meine Approbation als Arzt.

Seit dem 1.Januar 1967 bin ich in dem Strahlen-Institut der Universität des Saarlandes tätig und strebe die Facharztanerkennung als Radiologe an.

Geschäfts-, Werbe- und Privat-Drucksachen

ROTAPRINT-OFFSET-DRUCKEREI

6602 DUDWEILER

Scheidter Straße 26 Telefon Amt Sulzbach 7 32 84

Spezialgebiet: Druck von Dissertationen